

## 超深厚软基闸坝防渗墙止水组合防渗关键技术

### 完成单位：

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

国电西藏尼洋河流域水电开发有限公司

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司

主要完成人： 任苇 焦健 王君利 赵光竹 贺威

防渗止水技术可靠性一直是闸坝关键技术难点，尤其对于深厚覆盖层上闸坝工程尤为重要，本项目技术依托具有“一超三高”（超深厚复杂覆盖层），混凝土挡水建筑物最高（49.5m）、发电厂房最高（54.3m）、高海拔（大于3000m）特色的西藏尼洋河多布水电站工程，其软基覆盖层厚度接近360m，技术难度为国内乃至国际同类工程之最。组合技术成功解决了该工程30米高软基挡墙与防渗墙间止水可靠连接关键技术难题，主要技术达到同类技术先进水平。

本发明创新组合了一套理论——“广义塑性计算理论”、两项发明——“连接板与防渗墙缝间连接的SR止水结构及其止水方法”、“新型防渗墙顶部凹槽止水结构”、一套标准——“水工建筑物止水分区检查处理标准”等关键防渗技术。主要实施方式包括以下内容：

### 1、首次提出了采用广义塑性理论计算止水接缝空间的方法

作为止水设计的基础，该理论基于多布水电站建基于大开挖后砂砾石基础上超固结特性的实际，创新提出了对塑性模量进行超固结系数、应变累积系数修正，更客观反映土体的超固结特性。如防渗墙顶部与挡墙止水连接时，需要计算顶部预留凹槽高度及上下游宽度。以多布水电站工程泄洪闸上游右挡墙为例，广义塑性分析表明：凹槽（新型防渗墙顶部凹槽止水结构图中阴影部分）高度、上游侧宽度分别受竣工工期沉降差（3.15cm）、顺河向位移控制（1.45cm），下游侧宽度受蓄水期顺河向位移控制（5.59cm）。

2、研发实施了防渗墙顶部与相邻建筑物止水连接的两项发明专利技术

研发了连接板与防渗

墙缝间连接的SR止水结构发明专利技术，该技术仍然按照广义塑性理论计算考虑竣工、蓄水工况后确定缝宽，同时，采用表面SR鼓包及盖片止水技术及末端堵头，形成关键部

考虑土颗粒的剪胀性和剪切效应后的塑性模量表达式

$$H_L = \frac{P_a^m}{m(\lambda - \kappa) P^{m-1}} \frac{1 + (1 + \eta/M_a)^2}{1 + (1 - \eta/M_a)^2} \cdot \left(1 - \frac{\eta}{M_f}\right)^d$$

修正  $H_{RL} = H_L \cdot H_{DM} \cdot H_{den}$

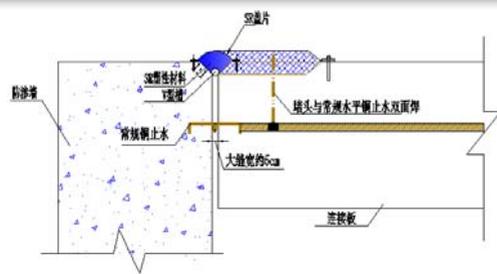
$$H_{DM} = \left(\frac{\sigma_{z,max}}{\sigma_z}\right)^{\gamma_{DM}} \quad H_{den} = \exp(\gamma_d \cdot \varepsilon_v^P)$$

超固结参数  $OCR = \sigma_{z,max} / \sigma_z$

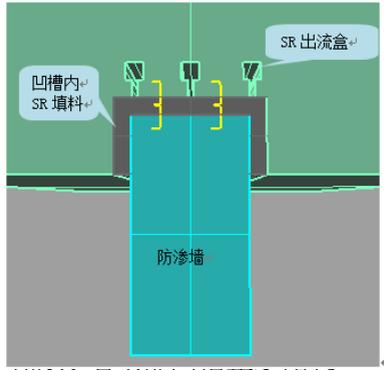
循环加载时塑性模量随着塑性应变累积

位表面整体封闭。

防渗墙顶部与挡墙连接时，采用新型防渗墙顶部凹槽止水结构，应用塑性更为良好的 SR 填料代替传统沥青填料，避免由于凹槽填料干缩导致的止水失效风险。采用凹槽顶部设置预埋 SR 出流盒 4 及通气孔 5 的细部结构，有效解决了塑性压缩、空气排除问题。



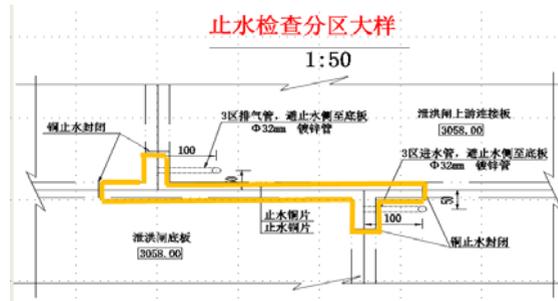
连接板与防渗墙缝间连接的 SR 止水结构



新

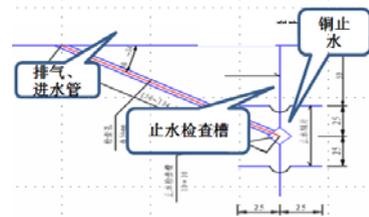
### 3、建立了水工建筑物止水分区检查处理标准

为确保止水施工最终防渗效果，将建筑物分缝两道止水之间采用竖向止水分区段隔离，在全部止水结构及混凝土浇筑待强后，压水检查，发现缺陷及时灌浆封堵，确保止水系统埋设质量及封闭完整。



### 止水检查槽缝面大样图

1:20



以上计算分析—防渗墙止水特殊处理—分区分区检查整套发明，首次成功应用在西藏尼洋河多布水电站工程中，止水分区检查处理在三峡船闸、西藏尼洋河多布水电站均成功应用，解决了高闸坝防渗止水关键技术难题，有效解决了深厚软基不同建筑物止水可靠连接问题。工程于2017年10月通过首部枢纽专项竣工验收，以来运行安全可靠，填补了国内外在350m级巨厚复杂覆盖地层上建设50m级高闸坝技术的空白，本项技术已经产生了显著的经济效益，具有较高的推荐价值。该工程获中国电力规划设计协会水电行业优秀设计一等奖。相关科研获西藏自治区科学技术厅科学技术二等奖、中国电建集团科学技术二等奖。

# 低闸坝式轴流大机组电站高窄大孔口超大型进水口事故闸门技术

推荐单位：中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

项目完成人：王兴恩 徐 祎 杨清华 谭守林

针对低闸坝式轴流大机组电站高窄大孔口进水口事故闸门因检修平台至坝面距离短，采用传统的固定卷扬机将事故闸门提出坝面进行检修需设置高排架，门机轨上扬程过高造成金属结构及土建增加投资较多和采用改进的低钢排架设置固定卷扬机每次检修需拆卸并装配固定卷扬机及钢排架造成运行期间检修维护麻烦且成本过大等问题，依托大渡河枕头坝一级水电站高窄大孔口超大型进水口事故闸门开展技术研究，提出了一种低闸坝式轴流大机组电站高窄大孔口超大型进水口事故闸门技术，解决了传统低闸坝式轴流大机组电站采用固定卷扬机操作的高排架技术带来的门机高度大，金属结构及土建投资大和改进的固定卷扬机操作的低钢排架技术带来的运行期检修维护麻烦且成本大，高窄大孔口进水口事故闸门采用门顶水柱闭门带来的闭门力不足，压盖式充水阀密封不足等技术问题主要进展如下：

## 1、低闸坝轴流大机组高窄大孔口进水口事故闸门采用高悬臂垂直式液压机操作并在闸井腔内完成检修技术

高窄大孔口进水口事故闸门采用高悬臂单缸垂直式液压机操作，其液压油缸通过门槽顶部设置的基座分成上、下两部分，液压油缸下段伸入闸坝内，中下部与固定在坝面的基座连接，液压油缸上段伸出坝面的长度小于门机的限高，液压油缸的底部经拉杆与事故闸门连接；门槽设置上、下两个锁定平台，事故闸门通过液压油缸提升至坝体内的检修腔，并经锁定梁将事故闸门的上端和下端分别与检修腔内的上下锁定平台固定；



锁定平台包括位于事故闸门上游的上游锁定平台和位于事故闸门下游的下游锁定平台，上、下两个锁定平台设置通长锁定梁轨道，事故闸门两侧的锁定平台之间设有锁定梁，锁定梁两端分别与上游锁定平台和下游锁定平台上的轨道滚动连

接；对于采用设置闸墩分成多个进水口引水的轴流大机组进口，其上、下两个锁定平台相邻的闸墩上开满足现场操作的矩形门洞，使每台机组对应的所有事故闸门的锁定平台连通，门洞高度不小于 1.8m。

## 2、高窄潜孔平面滑动事故闸门底主梁承受水柱闭门技术

高窄潜孔平面滑动事故闸门面板设置在下游侧，其门体由顶节门叶、中节门叶和底节门叶组成，顶节门叶设置充水平压阀，中节门叶数量根据闸门高度确定，底节门叶的底主梁采用箱型结构，底主梁上腹板不开漏水孔且与两侧边柱腹板和底主梁后翼缘形成上游三面封闭结构，底主梁后翼缘为整板结构，采用直线或折线型式，采用直线型式时兼作上游侧水封支撑板，采用折线型式时与底主梁下腹板设置的底水封支撑板相交，底主梁后翼缘折线与水平线夹角  $\alpha \geq 45^\circ$ ，边柱腹板兼作底水封支撑板，底水封采用带直角折边的 [ 型整体水封，底水封上部设置由横槽钢和竖槽钢焊接而成的 [ 型底水封支承结构。



## 3、平面闸门充水阀增强密封及止水性能技术

在闸门顶部对称设置两块吊耳板，在两吊耳板内部设置充水阀装置，在充水阀装置正下方设置充水阀管。充水阀的水封装置由矩形布置的 P 型水封装置和充水阀管内设置的柱塞式水封装置组成；P 型水封装置由矩形布置的 P 型水封及矩形水封压板组成；柱塞式水封装置由柱塞式水封及圆形压板组成，且柱塞式水封设置环状沟槽；充水阀管上部开与柱塞式水封形状对应喇叭口充水阀管出口向下倾斜，倾斜角度与水平线成  $15 \sim 75^\circ$ 。

该技术中闸门充水阀采用压盖式矩形布置 P 型 + 柱塞式组合水封装置若门顶存在异物，压盖式矩形 P 型布置水封止水不严，仍有柱塞式水封可以封水，漏水量减少，且在充水阀开启时具有引流作用，有利于充水阀底板周围的水流顺畅流入充水阀管。

目前该技术已在枕头坝一级水电站中成功应用，共计节省投资约 2500 万元，具有较好的经济效益。自 2015 年 5 月投运至今 4 年多的时间里，闸门及液压机运行平稳，运行情况良好，水封基本无漏水现象，止水效果良好，技术成效显著。此外，该技术还在中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司西藏前期设计的侧格、约龙、向达及林场等多个水电工程中应用，故该技术应用前景广阔。



# 水电站压力钢管埋弧自动横焊技术研究与应用

完成单位： 中国水利水电第三工程局有限公司

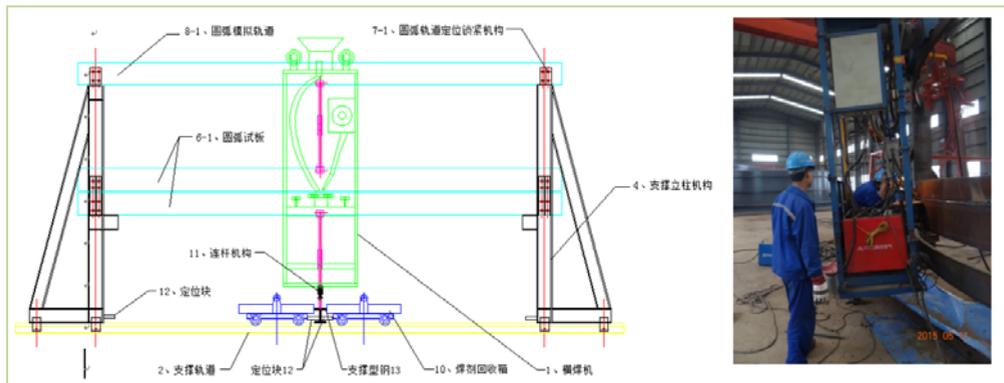
主要完成人： 杨联东 张 民 张文华 周林 田海鹏 王永

埋弧自动横焊设备及工艺技术，在大型钢制筒体及立面墙体安装工程的横缝焊接施工中，具有焊接效率高、焊缝成形美观、一次合格率高、操作简便、成本低廉等优点，在石油、化工、电力、冶金、核工业、海洋等行业中，有着较为广泛的应用。但在大型水电站压力钢管大节组装及竖井钢管安装工程中，因受空间、技术、规范等一系列条件的限制，未能得到有效利用。本技术发明结合水电站压力钢管制造安装特点，对埋弧自动横焊设备和工艺进行了二次创新和再开发，实现了大直径钢管大节组装及竖井钢管安装的环缝自动焊接，为水电行业压力钢管制造安装的焊接探索出一条新路。主要成果如下：

## 1、自主研发了多项专利技术

### 1.1 一种埋弧自动横焊试验装置

该装置包括横焊机、支撑轨道、支架锁紧机构、支撑立柱机构、试板定位机构、试板、轨道定位锁紧机构、模拟轨道、辅助支撑机构、焊机回收箱、连杆机构、定位块，具有结构简单、使用方便、通用性强、多种用途等优点，可进行焊接工艺评定、生产性焊接试验及焊接工人培训。



### 1.2 一种压力钢管大节拼装装置

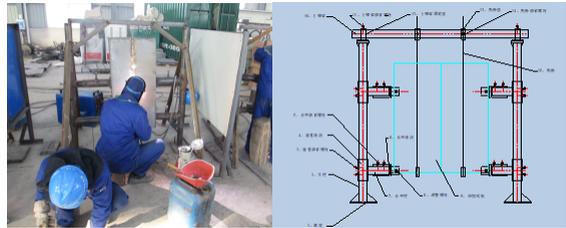
针对埋弧自动横焊对钢管拼装精度要求高的问题，研发了一种压力钢管大节拼装装置。该装置结构简单，设计新颖合理，可提高现场拼装精度、工效高、减小工人劳动强度，降低施工成本，



特别适合高强钢材质压力钢管拼装推广应用前景广阔。

### 1.3 一种大壁厚高强度压力钢管内支撑装置

研制了一种大壁厚高强度压力钢管内支撑装置，该装置由固定支撑结构和活动支撑结构组成，具有结构简单、施工方便、承载力大的优点。避免了在高强度压力钢管内壁进行焊接的弊端，对于大壁厚、高强度压力钢管调圆及支撑，起到了核心关键作用，为后续埋弧自动横焊的焊接质量打下良好基础。



### 1.4 一种焊接试板固定装置

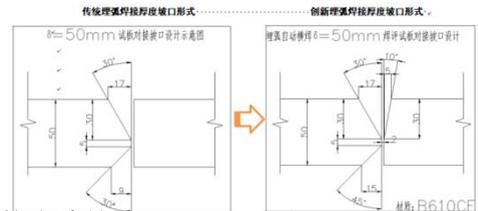
由于埋弧自动横焊工艺对于焊接操作工人要求较高，选拔及培训高素质的焊接施工操作人员，对于后期焊接施工至关重要，我们需要对参与焊接的工人进行培训，本装置就是为满足此项要求进行的设计。

### 1.5 一种大直径钢管施工安全悬挂装置

现有的钢管在进行大直径埋弧自动焊接施工时，高度一般在 3m 以上，属于高空作业，安全隐患大。本发明装置在施工时，可以随着施工人员绕钢管四周移动行走，机动灵活，有效确保了施工人员进行埋弧自动焊接以及质量检验时的安全。

## 2、创新了新的焊接坡口形式

摒弃传统坡口形式限制，创新坡口形式。重新命名为“带钝边非对称 K 形坡口”，改变原有对接坡口单边直角形式，增加小角度坡口，使焊接熔池表面的熔渣更容易排出，彻底解决了工艺评定试板焊接夹渣缺陷。



## 3、形成了成熟的埋弧自动横焊施工工法

针对溧阳抽水蓄能电站引水钢管管节重量大、翻身困难等难题，利用自动埋弧焊横焊机的结构特点，将设备直接挂在钢管上管口，横焊机运行机构沿压力钢管管口行走，带动横焊机导向机构沿钢管壁滚动。焊接过程中，根据压力钢管直径大小调整行进参数，根据材质、坡口、道次等调整焊接电流、电压、行走速度等参数。



成果已成功应用于溧阳抽水蓄能电站，部分成果推广应用于丰宁抽水蓄能电站。项目获中国大坝工程学会技术发明三等奖、第四届北京“嘉克杯”国际焊接技能大赛优秀论文二等奖，在水电站大型压力钢管施工中具有很大的推广应用价值。